



Second Semester Examination
Academic Session 2018/2019

June 2019

EMC322 – Automatic Control
[Kawalan Automatik]

Duration : 3 hours
Masa : 3 jam

Please check that this examination paper consists of TEN [10] printed pages before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi SEPULUH [10] mukasurat bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan.]

INSTRUCTIONS : Answer **ALL FIVE [5]** questions.

[ARAHAN] : Jawab **SEMUA LIMA [5]** soalan.]

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai.]

...2/-

1. [a] A high precision positioning slide is shown in Figure 1[a]. The drive shaft friction is b_d , the drive shaft spring constant is k_d , carriage mass is m , and the sliding friction is b_s . Assume all the initial conditions are zero.

Sebuah peluncur kedudukan kejutan tinggi ditunjukkan dalam Rajah 1[a]. Geseran aci pacu adalah b_d , pemalar pegas aci pacu adalah k_d , jisim pengangkut adalah m , dan geseran meluncur adalah b_s . Andaikan semua keadaan awal adalah sifar.

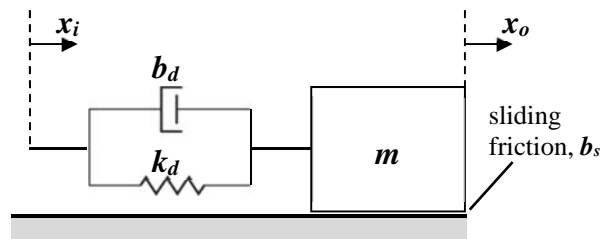


Figure 1[a]
Rajah 1[a]

- (i) Determine the transfer function $X_o(s)/X_i(s)$
Tentukan rangkap pindah $X_p(s)/X_{in}(s)$

(20 marks/markah)

- (ii) Determine the partial fraction expansion and find the inverse Laplace transform of the system when $b_d = 0.5$, $k_d = 1$, $m = 1$, and $b_s = 0.5$. Given the inverse Laplace transform for $F(s) = \frac{1}{s+a}$ is $f(t) = e^{-at}$ and $F(s) = \frac{1}{s}$ is $f(t) = u(t)$.

Tentukan pengembangan pecahan separa dan dapatkan penjelmaan Laplace songsang untuk sistem tersebut apabila $b_d = 0.5$, $k_d = 1$, $m = 1$, dan $b_s = 0.5$. Diberi penjelmaan songsang Laplace untuk $F(s) = \frac{1}{s+a}$ is $f(t) = e^{-at}$ dan $F(s) = \frac{1}{s}$ is $f(t) = u(t)$

(30 marks/markah)

...3/-

- [b] An electrical system is shown in Figure 1[b].
Satu sistem elektrik ditunjukkan dalam Rajah 1[b].

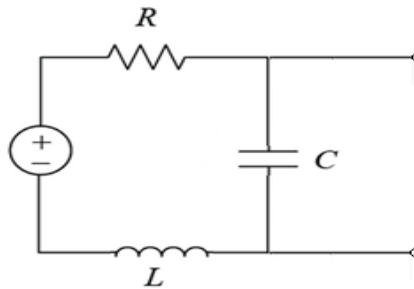


Figure 1[b]
Rajah 1[b]

- (i) Find the mathematical model for the system in s-domain.
Assume all initial conditions are zero.

Carikan model matematik untuk sistem tersebut dalam domain s. Andaikan semua keadaan awal adalah sifar.

- (ii) Obtain its block diagram.
Dapatkan rajah bloknya.

- (iii) Determine the transfer function using block diagram reduction technique.

Tentukan rangkap pindah dengan menggunakan kaedah pengurangan rajah blok.

(50 marks/markah)

2. A tunnel boring machine utilized in Kuala Lumpur MRT project is equipped with laser guidance system to keep the machine precisely aligned. A model of boring machine controller with unity feedback laser guide system is shown in Figure 2. The effect of the load on the machine is represented by the disturbance $T_d(s)$. The system has two parameters, the controller gain K and the constant K_1 in the process.

Mesin penebuk terowong yang digunakan dalam projek MRT Kuala Lumpur adalah dilengkapi dengan system panduan laser untuk memastikan mesin diijarkan dengan ketepatan tinggi. Model pengawal mesin penebuk dengan sistem suap-balik seunit ditunjukkan dalam Rajah 2. Kesan beban terhadap mesin adalah diwakili oleh gangguan $T_d(s)$. Sistem tersebut mempunyai dua parameter, gandaan pengawal K dan pemalar K_1 dalam prosesnya.

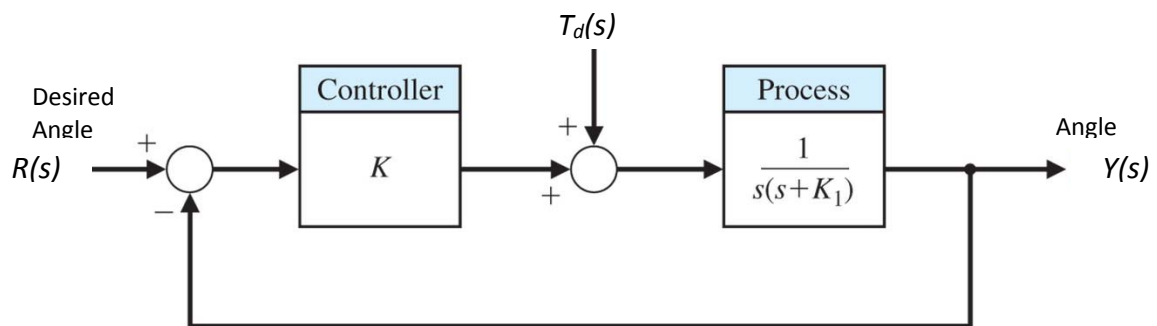


Figure 2
Rajah 2

- [a] Obtain the sensitivity of the closed loop transfer function to the changes in K_1 .

Dapatkan kepekaan rangkap pindah gelung tertutup terhadap perubahan dalam K_1 .

(30 marks/markah)

- [b] How would you select a value for K in reducing the sensitivity with the change in K_1 ?

Bagaimana anda akan memilih satu nilai bagi K untuk mengurangkan kepekaan terhadap perubahan K_1 ?

(10 marks/markah)

...5/-

- [c] Calculate the steady state error of closed loop system due to a unit step input $R(s) = 1/s$ when $K = 100$ and $K_1 = 10$. Assume there is no disturbance.

Kira ralat keadaan mantap sistem gelung tertutup akibat satu masukan pelangkah seunit $R(s) = 1/s$ apabila $K = 100$ dan $K_1 = 10$. Anggapkan tiada gangguan.

(30 marks/markah)

- [d] Calculate the steady state response of closed loop system due to a unit step disturbance $T_d(s) = 1/s$ when $K = 100$ and $K_1 = 120$. Assume the input is $R(s) = 0$.

Kira sambutan keadaan mantap sistem gelung tertutup akibat satu gangguan pelangkah seunit $T_d(s) = 1/s$ apabila $K = 100$ dan $K_1 = 120$. Anggapkan masukan $R(s) = 0$.

(30 marks/markah)

3. [a] A position control system of a dispensing nozzle unit in a three-dimensional (3D) printing machine is shown in Figure 3[a]. Calculate the settling time T_s (based on 5% criterion), rise time T_{r1} (10% to 90% of final value), peak time T_p , percentage of overshoot PO and steady state error e_{ss} of the closed-loop system response to a unit step input. For a second order system ($s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2$),

$$T_s = \frac{3}{\zeta\omega_n}, T_{r1} = \frac{2.16\zeta+0.60}{\omega_n}, T_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}, PO = 100e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}} \text{ and } e_{ss} =$$

$\lim_{s \rightarrow 0} sE(s)$ where ζ is the damping ratio and ω_n is the natural frequency.

Satu sistem kawalan posisi untuk unit muncung pengedaran sebuah pencetak tiga dimensi ditunjukkan dalam Rajah 3[a]. Kira masa enapan T_s (berdasarkan kriteria 5%), masa meningkat T_{r1} (10% hingga 90% nilai akhir), masa memuncak T_p , peratusan lajukan PO dan ralat keadaan mantap e_{ss} bagi sambutan sistem gelung tertutup tersebut terhadap seunit masukan pelangkah. Untuk satu sistem darjah kedua ($s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2$), $T_s = \frac{3}{\zeta\omega_n}$, $T_{r1} = \frac{2.16\zeta+0.60}{\omega_n}$, $T_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$, $PO =$

$100e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}$ and $e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s)$ di mana ζ adalah nisbah peredamnya dan ω_n adalah frekuensi semulajadinya.

...6/-

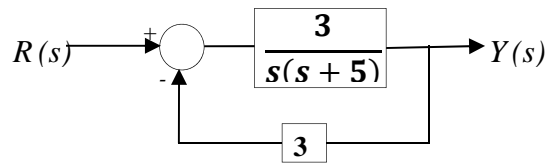


Figure 3[a]
Rajah 3[a]

(40 marks/markah)

- [b] A control system for positioning the head of a laser printer has the closed loop transfer function $T(s) = \frac{20b}{(s+20)(s^2+as+b)}$. Select a design value for parameters a and b so that the percentage of overshoot $PO = 4.3\%$ and the second order equation $(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)$ dominates for a unit step input response. For a second order system, $PO = 100e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}$ where ζ is the damping ratio and ω_n is the natural frequency. Obtain the poles of this system.

Satu sistem kawalan bagi memposisikan kepala sebuah pencetak laser mempunyai rangkap pindah gelung tertutupnya $T(s) = \frac{20b}{(s+20)(s^2+as+b)}$.

Pilih satu nilai reka bentuk bagi parameter a dan b supaya peratus lajukan $PO = 4.3\%$ dan persamaan darjah keduanya $(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)$ menguasai bagi sambutan seunit masukan pelangkah. Untuk satu

sistem darjah kedua, $PO = 100e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}$ di mana ζ adalah nisbah peredamnya dan ω_n adalah frekuensi semulajadinya. Dapatkan kutub-kutub sistem ini.

(30 marks/markah)

...7/-

- [c] The block diagram of an automobile speed control system is shown in Figure 3[c]. Select a design value for parameters a , b , c and d in order to satisfy the integral of time multiplied by absolute error (ITAE) performance and a settling time T_s less than or equal to 1 second for a ramp command $R(s)$. Given the settling time $T_s = 4/\zeta\omega_n$ for 2% criterion, the damping ratio $\zeta = 0.7$ for ITAE and the ITAE coefficient is

$$s^4 + 2.41\omega_n s^3 + 4.93\omega_n^2 s^2 + 5.14\omega_n^3 s + \omega_n^4.$$

Rajah blok satu sistem kawalan laju kereta adalah ditunjukkan dalam Rajah 3[c]. Pilih satu nilai reka bentuk bagi parameter a , b , c dan d untuk memenuhi prestasi kamiran masa didarab ralat mutlak (ITAE) dan satu masa enapan T_s kurang dari atau sama 1 saat bagi satu arahan tanjakan $R(s)$. Diberi masa enapannya $T_s = 4/\zeta\omega_n$ bagi kriteria 2%, nisbah peredamnya $\zeta = 0.7$ bagi ITAE dan pekali ITAE adalah

$$s^4 + 2.41\omega_n s^3 + 4.93\omega_n^2 s^2 + 5.14\omega_n^3 s + \omega_n^4.$$

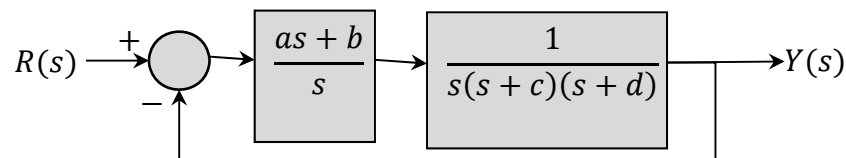


Figure 3[c]
Rajah 3[c]

(30 marks/markah)

4. A closed loop hydraulic positioning system has a block diagram as shown in Figure 4. The process transfer function is $G(s) = \frac{s}{s(s^2 + 4s + 8)}$ and the controller transfer function is $G_c(s) = \frac{K}{s + 2}$

Satu sistem memposisikan hidraulik gelung tertutup mempunyai gambarajah blok seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4. Rangkap pindah proses adalah $G(s) = \frac{s}{s(s^2 + 4s + 8)}$ dan rangkap pindah kawalan adalah $G_c(s) = \frac{K}{s + 2}$

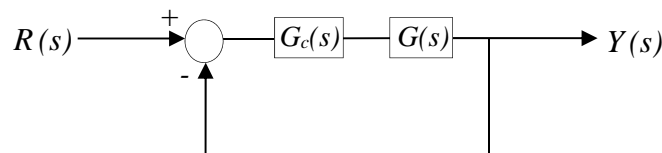


Figure 4
Rajah 4

...8/-

- [a] If the gain $K = 60$, determine whether the system is stable using the Routh Hurwitz criterion.

Jika gandaan $K = 60$, tentukan kestabilan sistem tersebut menggunakan kriteria Routh-Hurwitz.

(20 marks / markah)

- [b] Analyze the range of the gain K for the system that will result in a stable system using the Routh-Hurwitz criterion.

Analisa had nilai gandaan K bagi sistem tersebut yang menghasilkan sistem stabil menggunakan kriteria Routh-Hurwitz.

(30 marks / markah)

- [c] Analyse the relative stability of the system when gain $K = 10$ by shifting the axis and using the Routh-Hurwitz criterion. Show the roots are between -0.5 and -0.6.

Analisa kestabilan relatif sistem apabila gandaan $K = 10$ dengan menganjakkan paksi dan menggunakan kriteria Routh-Hurwitz. Tunjukkan punca-puncanya antara -0.5 dan -0.6.

(50 marks / markah)

5. A unity feedback system as shown in Figure 5 is used to control the altitude of an unmanned aerial vehicle using proportional integral derivative (PID) controller. To begin the closed loop Ziegler-Nichols PID tuning process, set $K_I = 0$ and $K_D = 0$ then increase K_P until the feedback system has sustained oscillations.

Satu sistem kawalan suap-balik seunit seperti ditunjukkan dalam Rajah 5 digunakan bagi mengawal ketinggian sebuah kenderaan udara tanpa pemandu menggunakan pengawal berkadaran kamiran kebezaan (PID). Bagi memulakan proses penalaan PID Ziegler-Nichols gelung tertutup, set $K_I = 0$ dan $K_D = 0$ kemudian tingkatkan K_P hingga sistem suap-balik memperolehi ayunan yang kekal.

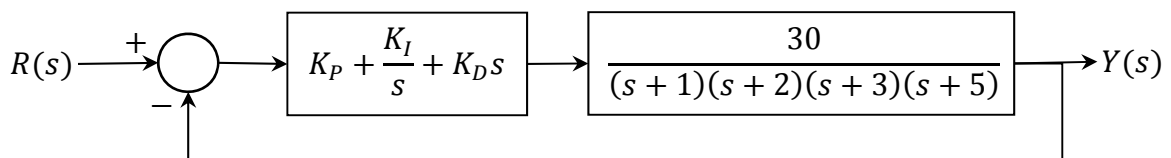


Figure 5
Rajah 5

...9/-

- [a] Sketch the segments of the root locus on real axis by locating the poles and zeros on s-plane.

Lakarkan segmen-segmen londaar punca pada paksi nyata dengan meletakkan lokasi kutub-kutub dan sifar-sifarnya pada satah-s.

(20 marks/markah)

- [b] Plot the root locus by determining the asymptote center σ_A and angles ϕ_A , the breakaway points, and the imaginary roots that result in marginal stability given $\sigma_A = \frac{\sum_{i=1}^n(-p_i) - \sum_{j=1}^M(-z_j)}{n-M}$ and $\phi_A = 180^\circ \left(\frac{2k+1}{n-M} \right)$.

Plot londaar puncanya dengan menentukan pusat σ_A dan sudut-sudut ϕ_A asimptotnya, titik-titik berpisahannya dan punca-punca hayalan yang mengakibatkan sedikit stabil diberi $\sigma_A = \frac{\sum_{i=1}^n(-p_i) - \sum_{j=1}^M(-z_j)}{n-M}$ dan $\phi_A = 180^\circ \left(\frac{2k+1}{n-M} \right)$.

(60 marks/markah)

- [c] The step response when the system is marginally stable is shown in Figure 5[c], Determine the ultimate gain K_U and ultimate period T_U and calculate the proportional gain K_P , integral gain K_I and derivative gain K_D based on closed loop Ziegler-Nichols PID controller tuning gain given $K_P = 0.6K_U$, $K_I = \frac{1.2K_U}{T_U}$ and $K_D = \frac{0.6K_U T_U}{8}$.

Sambutan pelangkah apabila sistem tersebut sedikit stabil ditunjukkan dalam Rajah 5[c]. Tentukan gandaan muktamad K_U dan tempoh muktamad T_U dan kira gandaan berkadar K_P , gandaan kamiran K_I dan gandaan kebezaan K_D berdasarkan gandaan penalaan pengawal PID Ziegler-Nichols gelung tertutup diberi $K_P = 0.6K_U$, $K_I = \frac{1.2K_U}{T_U}$ dan $K_D = \frac{0.6K_U T_U}{8}$.

...10/-

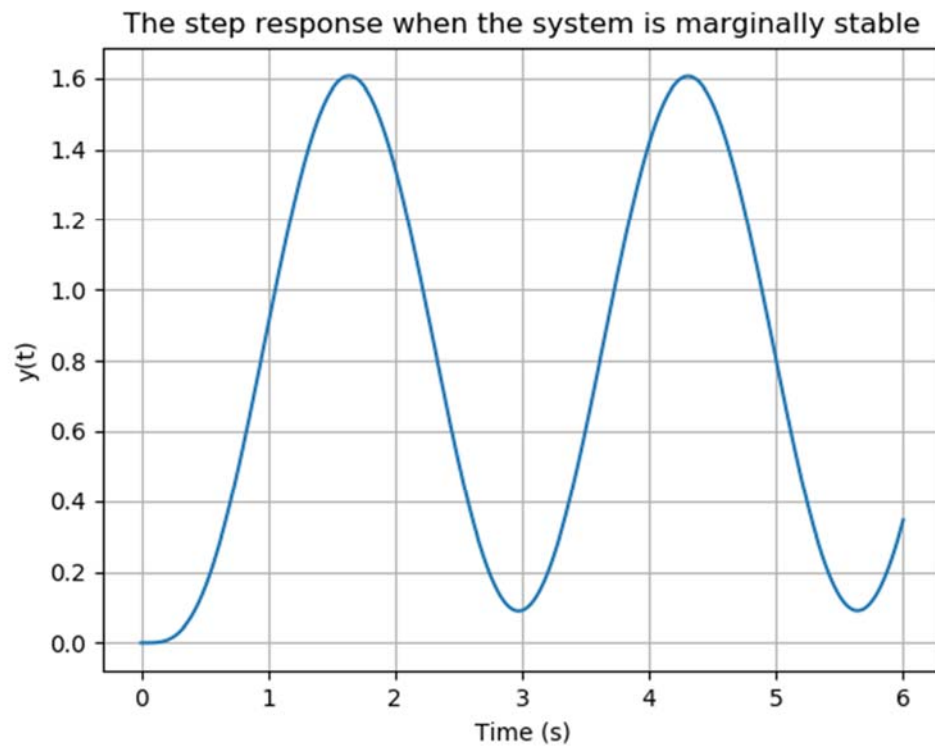


Figure 5[c]
Rajah 5[c]

(20 marks/markah)

- oooOooo -